

# Cyber-Physical Production Systems - Herausforderungen bei Modellierung und Informationsmanagement

EEE Dresden 30.06.2016

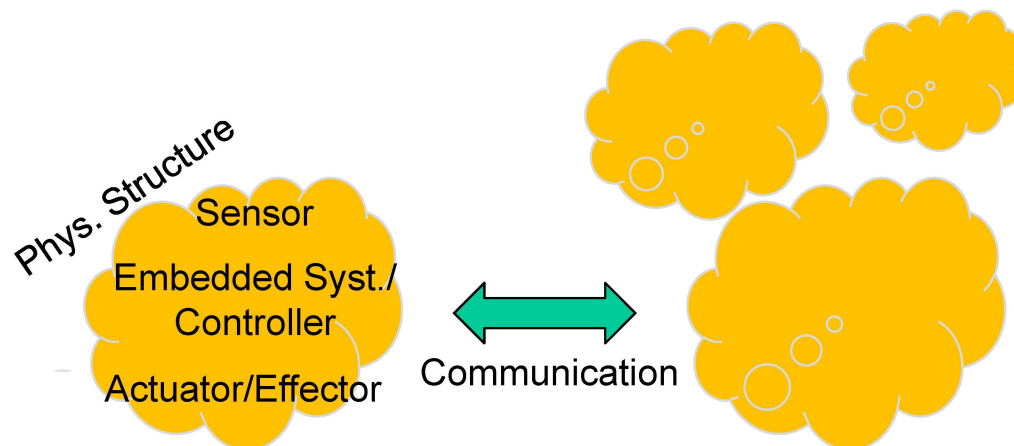
Institut für Konstruktionswissenschaft und Technische Logistik  
Forschungsbereich Maschinenbauinformatik und Virtuelle Produktentwicklung (MIVP)  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Gerhard ■ <http://www.mivp.tuwien.ac.at>

- Begriffe
- Unterscheidung verschiedener Produktionstypen
- Herausforderungen bei der Modellierung und beim Informationsmanagement
- Lösungsansätze



- Cyber-Physical Systems typically consist of **Embedded Systems** (as part of devices, buildings, cars, traffic infrastructure, **production systems**, logistics components etc.), which
  - Capture (physical) data with **sensors** and act on their environment with **actors**
  - Are connected to digital data networks (wireless, wired, local, global)
  - Use Internet Services and Cloud Technologies
  - Comprise several **multi-modal** Human Machine Interfaces (HMI) (specific devices, browser based, etc.)
- What are the main characteristics of CPS?
  - **Context sensitive/ adaptive**
  - **(Partly) autonomous**

Source: Broy, TUM

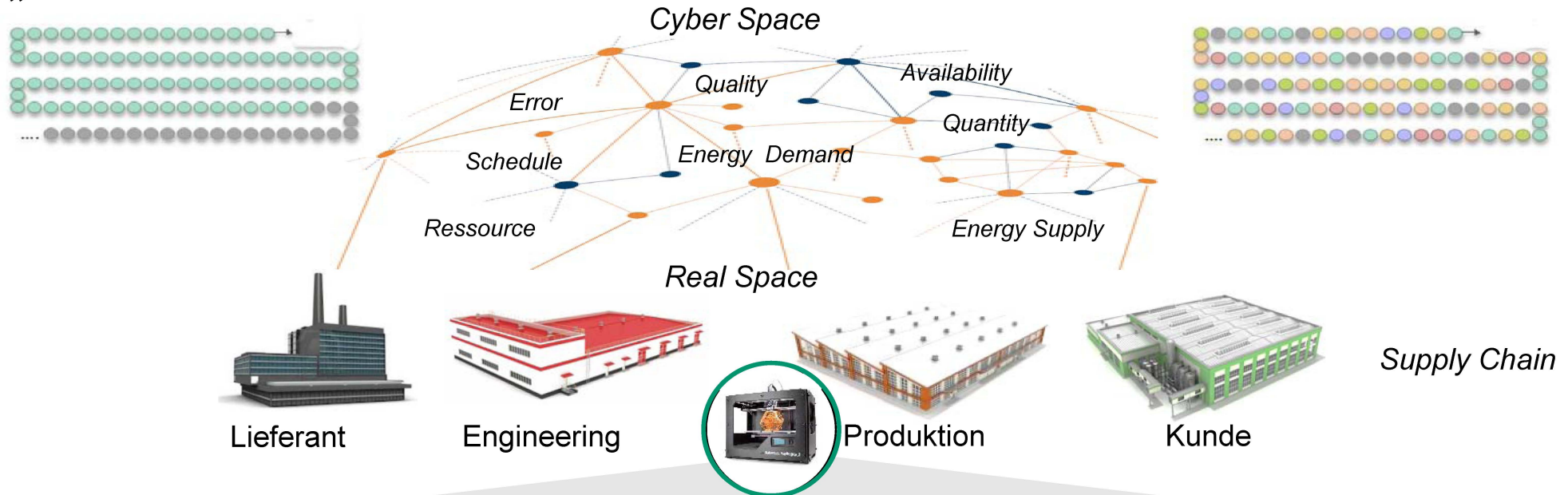


A word cloud of terms related to Cyber-Physical Systems. The most prominent term is 'Cyber Physical System' in large orange letters. Other visible terms include: 'Web of Things', 'Modeling and analysis', 'Requirements', 'Building blocks for CPS', 'Human space computing', 'Security privacy and trust', 'Future cyber-physical systems', 'Cyber information engineering', 'Critical physical infrastructures', 'Evaluation', 'OS support', 'Socio-economic impact of CPS', 'Internet of Things', 'Novel CPS applications', 'Pervasive computing', 'Sensor technologies', 'Theoretical foundations', 'CPS terminology', 'Metrics', 'Evaluation approaches', 'Wireless sensors', 'Sensor and actuator networks', 'Systems abstractions services', 'Zigbee', 'Zwave', 'IoT', 'Architectures for CPS', 'Embedded intelligence', 'Detailed case studies', 'WoT', and 'WoT'.

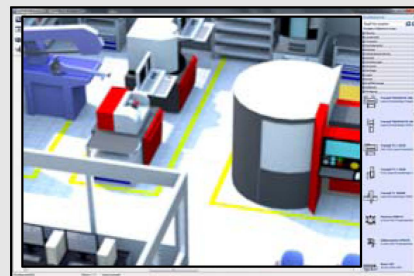


„From Batch ...

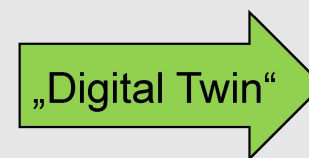
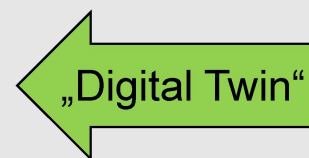
... to Lot-Size 1“



*Lifecycle (Produkt und produktionssystem)*



*Virtuell*

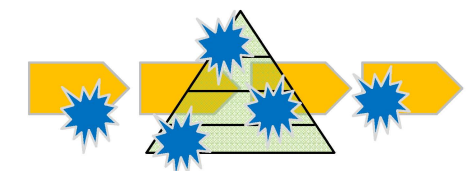
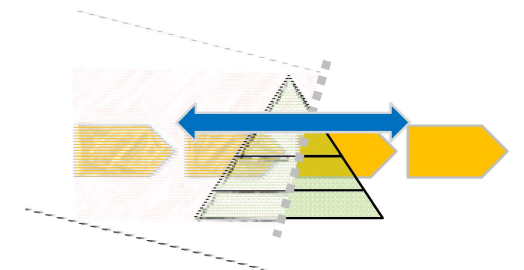
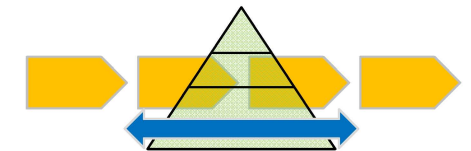
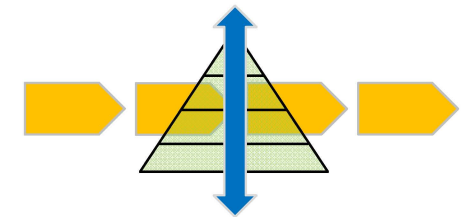


*Real*



Produktionsoptimierung bedeutet, die Effizienz der Produktion im Hinblick auf fünf einander **entgegengesetzte Zieldimensionen** beständig zu steigern.

- Variabilität, Qualität, Geschwindigkeit, Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit
- **Vertikale Integration:**  
z.B. Sensorische Erfassung umfangreicher Informationen in der Produktions- und Betriebsphase von Produkten für die gezielte Auswertung und Weiterverarbeitung auf allen Ebenen der **Automatisierungspyramide**
- **Horizontale Integration:**  
z.B. durchgängiges Informationsmanagement in der gesamten Wertschöpfungskette (in der Supply Chain) von der ersten Produktionsstufe bis hin zum fertigen Produkt
- **Lifecycle Integration:**  
z.B. Multidisziplinäre Modellierung von Produkt und Produktionssystem und Kohärenz zwischen Modell und Realität über den **Lifecycle** („Digital Twin“)
- **Assistenzsysteme:**  
z.B. Unterstützung der Mitarbeiter auf allen Ebenen des Produktentstehungsprozesses durch **kontextorientierte** Bereitstellung von Informationen („Augmented Operator“)



- **Make-To-Stock:** Marktorientierte Massenproduktion (inkl. Chargen/Sortenproduktion) standardisierter, in sich nicht komplexer Produkte, ohne Kundenauftrag
- kontinuierliche oder quasi kontinuierlich Produktionsprozesse, anlagenintensiv, material- und energieintensiv, nicht arbeitsintensiv
- **Produktionssystem**
  - Komplexe Anlagen/Sondermaschinen mit hohem Mechanisierungs- bzw. Automatisierungsgrad und Verrichtungsspezialisierung
  - Umfangreiche sensorische Datenerfassung und –analyse
  - Produktionssystem nicht flexibel/wandelbar
  - Vorgaben vom Produkt (Qualität etc.) sind fix/starr
  - geringe Rückkopplung Produktion > Produktentwicklung
- **Herausforderung bzw. Potential**
  - Überwachung, Steuerung, Optimierung des Produktionsprozesses (Ressourceneinsatz, Qualität, Ausbringung, Verfügbarkeit) auf Basis von Echtzeitdatenanalyse
  - Betrieb ist wissensintensiv, umfangreiche MRO-Aufgaben im Betrieb





- **Engineer-To-Order:** kunden- bzw. auftragsbezogene Einzelproduktion von individuellen, komplexen (Sonder-)maschinen und Anlagen mit hohem Engineering und Konstruktionsanteil
- Diskrete werkstatt- bzw. baustellenorientierte Produktionsprozesse, arbeitsintensiv, nicht material- und energieintensiv, unmittelbare Projektabwicklung über den Auftrag
- **Produktionssystem**
  - hoher auftragsbezogener Planungs-, Einrichtungs-, und Rüstaufwand bei den Fertigungsverfahren, den Fertigungsmaschinen und Vorrichtungen, der menschlichen Arbeit
  - Geringer Mechanisierungs- bzw. Automatisierungsgrad
  - Unmittelbar mit der Entwicklung/Konstruktion verbundene auftragsabhängige Produktionsplanung und -steuerung
- **Herausforderung bzw. Potential:**
  - Projektübergreifendes Wissensmanagement (für Produktentwicklung, Arbeitsvorbereitung, ...)
  - Integration aller Produktentwicklungsdomänen
  - Optimale Maschinen-/Ressourcenbelegung in der Produktion





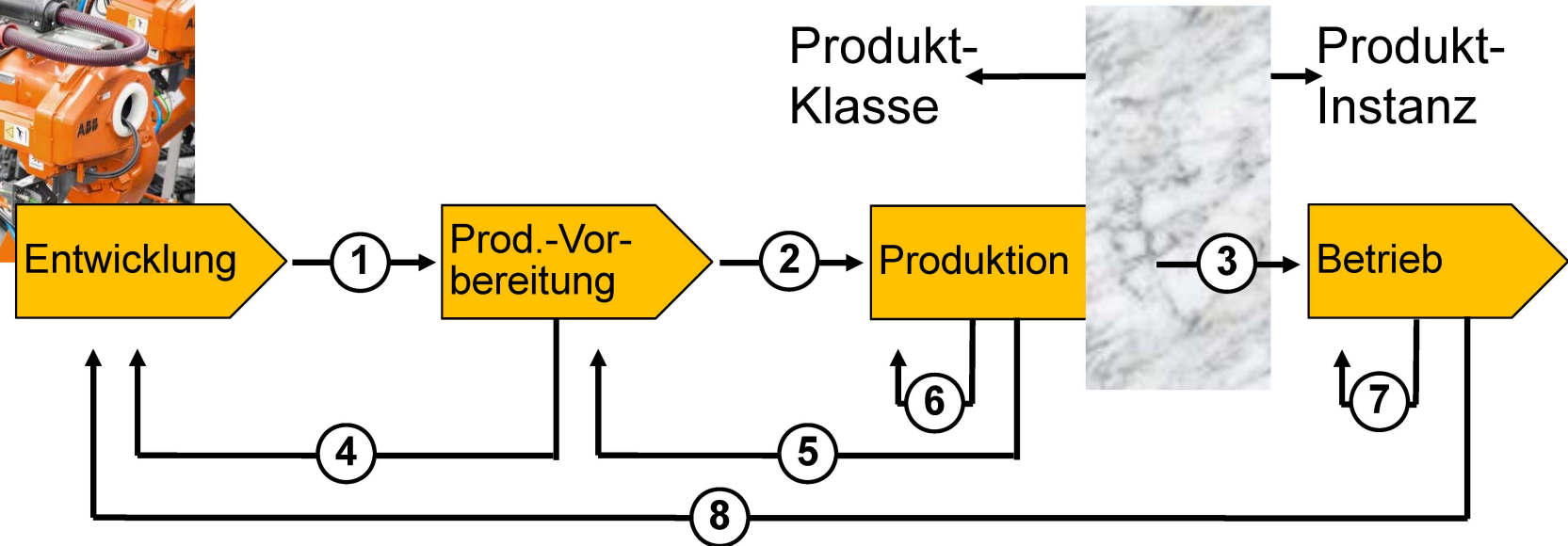
- **Configure-To-Order" (CTO)** bzw. Make-To-Order" (MTO) oder "Assemble-To-Order: Kundenorientierte Serienfertigung mit Auftrag (bzw. teilweise Komponenten auch marktorientiert, ohne Kundenauftrag)
- Diskrete Fertigung konfigurierbarer oder individualisierbarer Produkte, „Mass-Customization“ durch Modularisierung und Plattformstrategien
- **Produktionssystem**
  - Teilautomatisierte Produktion typisierter Serienprodukte mit kundenspezifischen Ausprägungen über mehrere Produktionsstufen
  - Flexible Fertigungssysteme, Produktionsinseln, -linien, Transferstraßen
  - Produkt und Produktionssystem werden parallel entwickelt
- **Herausforderung bzw. Potential:**
  - Integration und Management der Abhängigkeiten zwischen Produkt und Produktionssystem
  - Wandelbarkeit der Produktion, Adaptivität; Losgröße 1 (Rüstzeitoptimierung, Werkerassistenzsysteme, ...)



- CPS: Nutzung von Daten aus der Nutzungs-/Betriebsphase des Produkt (auf Instanzebene)
  - MTS-Produkte: eher nicht relevant; „einfache“ Produkte im B2C Bereich
  - CTO-Produkte: teilweise relevant; Bedeutung stark steigend
    - B2B: z.B. Werkzeugmaschinen
    - B2C: z.B. Autos
    - Generierung neuer Geschäfts- und Betreibermodelle
    - Erweiterung des Service-Angebots (Condition Monitoring; Prev. Maintenance)
    - Treiber: Sensorik, Embedded Systems, Software
  - ETO-Produkte: stark relevant; Investitionsgüter im B2B Bereich
    - Z.B. komplexe Anlagen zur Produktion von MTS-Produkten
    - Steuerung/Regelung sowie Optimierung im Betrieb
    - Fortlaufende Änderung der Anlage selbst im Betrieb
    - MRO-Prozesse



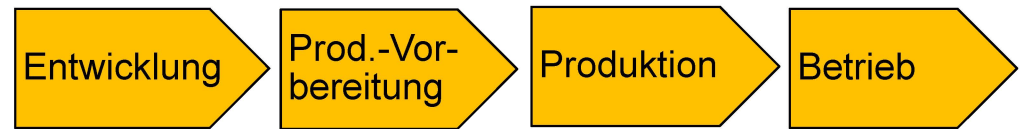




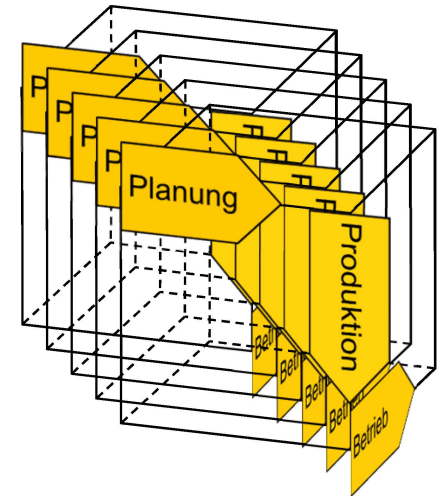
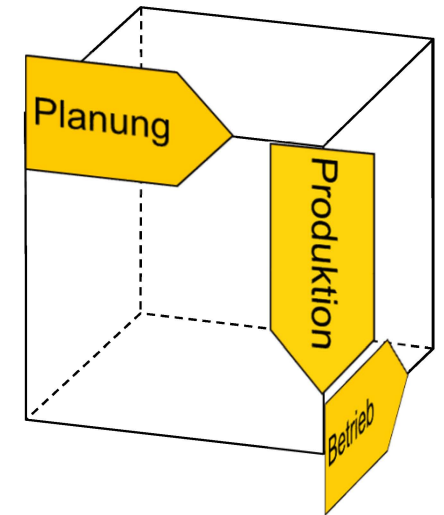
1. E&K Daten werden verwendet, um Planungs/AV Daten zu generieren
2. Planungsdaten dienen als Grundlage zur Produktionssteuerung (Soll)
3. Ist-Daten der Produktion sind Grundlage für den Betrieb
4. Feedback Daten zur Verbesserung des Produkts
5. Feedback Daten zur Verbesserung der Produktionsplanung
6. Ist-Daten zur direkten Optimierung des Produktionsprozesses (Soll-Ist Abgleich)
7. Ist-Daten zur direkten Optimierung des Betriebs + MRO Unterstützung
8. Ist-Daten zur Verbesserung/Weiterentwicklung des Produkts



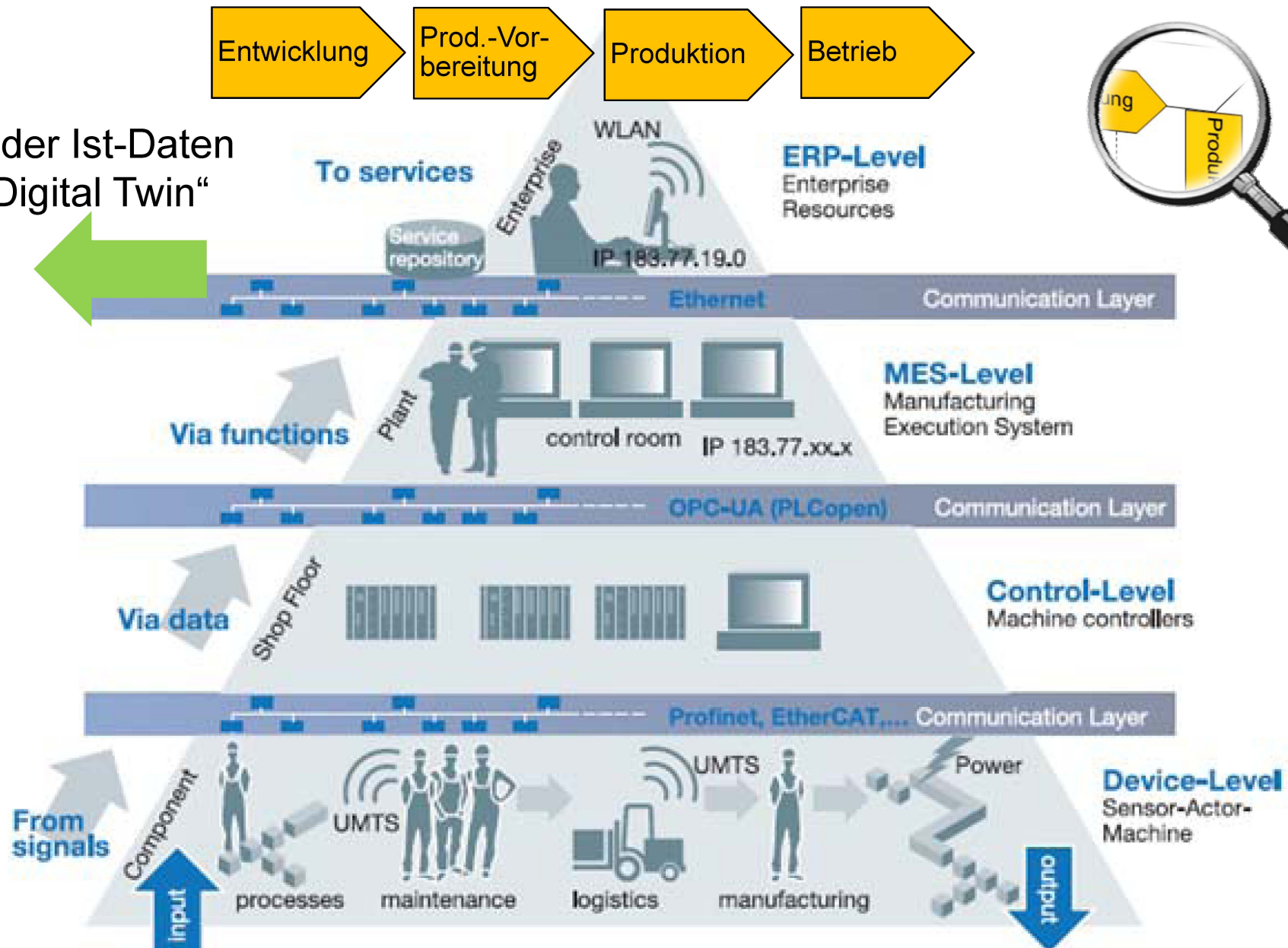
- Produktlebenszyklus stark vereinfacht



- Mehrdimensionalität im Produktlebenszyklus aus Sicht der Informationsverarbeitung
  - Planung (E&K + Produktionsvorbereitung): virtuelle/abstrakte Betrachtungsebene
  - Produktion: Übergang von der virtuellen in die reale Betrachtungsebene
  - Betrieb: reale Betrachtungsebene
- Gemeinsame Nutzung von Informationen aus
  - Parallel laufenden Produktentwicklungsprojekten
  - Parallel abzuarbeitenden Kunden- und Produktionsaufträgen (Supply Chain, Auftragsnetz)
  - Parallelem Betrieb von Maschinen/Anlagen
- Wiederverwendung von Informationen insbesondere auf Teile- oder Komponentenebene



Nutzung der Ist-Daten  
für den „Digital Twin“



- IT Systeme zur Modellierung und zum Informationsmanagement müssen ein komplexes Geflecht unterschiedlicher Sichten funktional und modellhaft abdecken:
  - Entwicklung/Planung, Produktion, Betrieb/Nutzung
  - Anforderungen, Funktionen/Wirkprinzipien, Logik/Verhalten, Phys. Ausprägung
  - Produkt (System), Komponenten, Einzelteile
  - Mechanik, Hydraulik, Pneumatik, E/E, Steuerung/Software
  - Fertigung, Montage, Prüfung, Verpackung, Transport
  - Kunde, Lieferant, Dienstleister, Eigentümer/Betreiber
  - Gebäude/Infrastruktur, Energieversorgung
- Eine vereinheitlichte bzw. modellhaft kohärente Beschreibung aller notwendigen Informationen (in einer Wissensdomäne wie CPPS) ist unrealistisch
- **Forschungsfragen:**
  - Wie können Partialmodelle und sonstige Informationen (Dokumente, Normen, ...) informationstechnisch leichtgewichtig verwaltet werden?
  - Wie können Durchgängigkeit von Informationen gewährleistet und kausale Abhängigkeiten transparent gemacht werden?
  - Wie können aus Daten ohne hinterlegte Modelle Korrelationen und Kausalzusammenhänge für verschiedene Fragestellungen abgeleitet werden?



- Bisher: Modellierung aller notwendigen Artefakte und Erstellung aller notwendigen Unterlagen zur Auslegung und Herstellung eines Systems  
>> Digital Mock-Up+ (auf Produktklassenebene)
  - Im Software-Bereich: Statischer Programm-Code, der sensorisch erfasste Daten (Systemzustände) auswertet und ggf. aktuatorische Aktionen durchführt oder oder Benutzerinteraktion abarbeitet
- Zukünftig: Zusätzlich: Modellierung des Systems im Betrieb und fortschreibende Dokumentation aller MRO-Operationen und Änderungen im Betrieb  
>> Functional Mock-Up+ (auf Produktinstanzebene)
  - Im Software-Bereich: Adaptiver Programm-Code (z.B. SPS, CNC Steuerung), um Self-X Funktionalitäten abbilden zu können
- **Forschungsfragen:**
  - Wie können effektiv Produktinstanzen im Sinne „Digital Twin“ gemanaged werden?
  - Wie können Daten aus dem Betrieb vereinheitlicht für die Steuerung und Auswertung im „Digital Twin“ verwendet werden (z.b. auch Erfassung von Verschleiß, Abnutzung etc.)
  - Wie können die Grenzen von adaptivem Verhalten im Betrieb modelliert werden?
  - Wie kann robustes Verhalten adaptiver Systeme sichergestellt werden?

- Demonstrations- und Forschungsplattform
- Investment ca. 4 Mio € in den nächsten 2 Jahren
- Flexible und adaptive Automatisierung
- Durchgängige Virtualisierung („Digital Twin“)
- Werkerassistenzsysteme für Produktion und Montage



## PLM (Siemens Teamcenter)

Project & Schedule Mgmt  
CAX Integration (MCAD)  
ERP Integration  
Manufact. Process Mgmt.

Visualization  
Document Mgmt  
Release Mgmt  
Product Data Mgmt

## ERP (SAP)

Master Data  
Sales and Operations  
Demand Management  
Material Requirements

Long Term Planning  
Production Order Creation  
Capacity Requirements  
Production execution

## MES (SAP MII und ME)

ERP Integration KPI Mgmt  
Scheduling  
Electronic Work Instructions  
WIP Reporting, Traceability  
Non Conformance Mgmt

Tool Management  
In-Process Monitoring  
Resource Status, Dashboard  
Maintenance



## Manufacturing

Reconfigurable and adaptive manufacturing systems for high mix and low volume production, integration controls and MES, M2M communication, connection to automated transport, identification of work orders by RFID, integration of additive and subtractive manufacturing



## Logistics

Development of an adaptive intra-plant logistics system (warehouse, automated transport) as a forerunner for Industry 4.0, using conveyor modules with decentralized mechanical, electrical and control engineering concept, operating independently in the manufacturing system



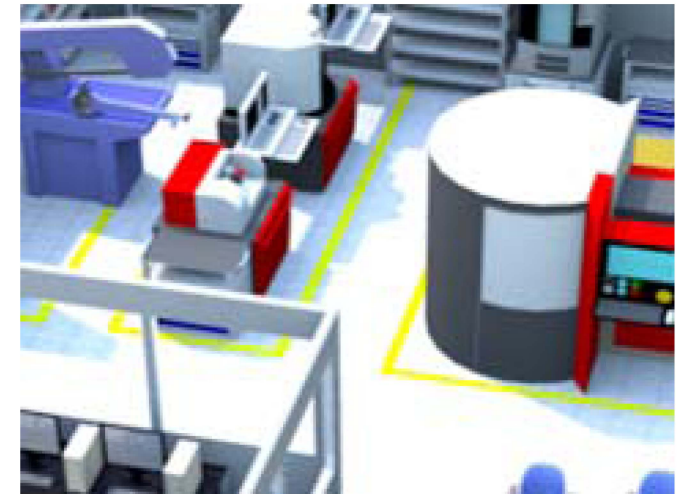
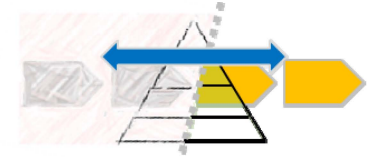
## Assembly

Development of an integrated cyber-physical assembly system with electronic worker guidance, intelligent assistance systems and interactive human robot collaboration

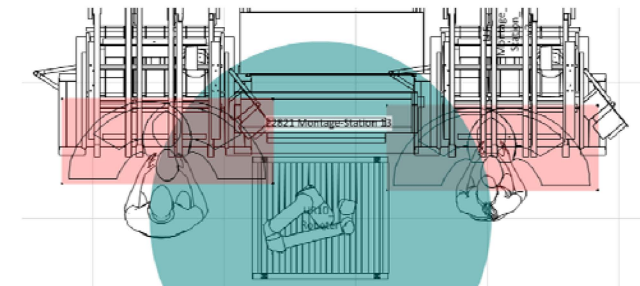




- **Ausgangssituation:**  
Zwischen Produkt- und Produktionssystem gibt es oft ein digitales „Gap“ bzw. eine Virtualisierungslücke. As-Planned und As-Built Status von Produktionssystemen sind gut abgedeckt, jedoch nicht die Änderungen im Betrieb (Operation, Maintenance)
- **Szenario-Zielsetzung:**  
Durchgängige Repräsentation des realen Produktionssystems in der virtuellen Welt, um Änderungen und Anpassungen testen (Simulation, Optimierung) und Daten in die Produkt- und Systementwicklung zurückführen zu können (Plant Design, Process Simulate, Teamcenter, ...)



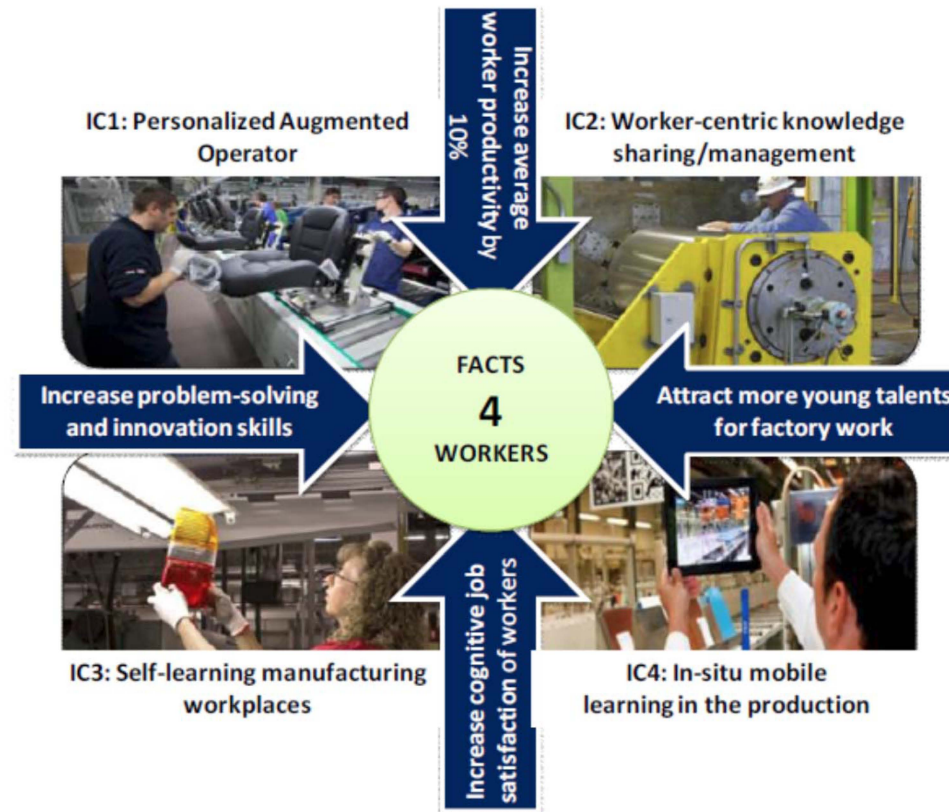
- **Ausgangssituation:**  
Produkte werden individualisierter, die Variantenanzahl nimmt zu. Werker müssen im Hinblick auf Fertigungs- und Montagetätigkeiten mit entsprechend individualisierten Informationen versorgt werden.
- **Szenario-Zielsetzung:**  
Automatisierte Versorgung von Werker-Assistenzsystemen mit individualisierten bzw. auf die individuelle Produktvariante bezogenen Informationen, auch als Basis für AR-Anwendungen in der Produktion (Teamcenter, NX, ...)



- Four identified industrial challenges
- Worker centric approach of requirements analysis
  - From „problem description“ to „activity scenarios“
- Integration and use of „smart devices“
- Upstream information
  - CAD, PDM, ERP
- Downstream information
  - NC, PLC

## FACTS4WORKERS – Worker-Centric Workplaces in Smart Factories

Worker-Centric Workplaces in Smart Factories (FACTS4WORKERS) is a project coordinated by VIRTUAL VEHICLE in the Horizon 2020 program of the European Commission within the Factory of the Future PPP.

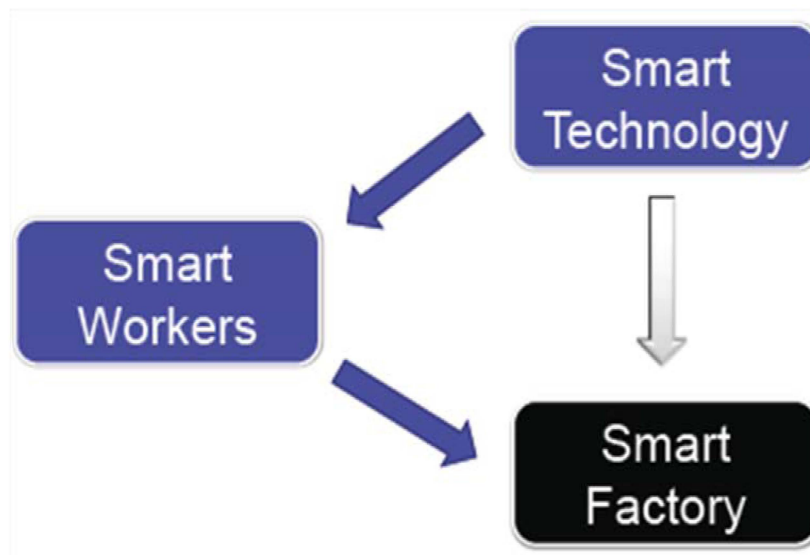


virtual vehicle

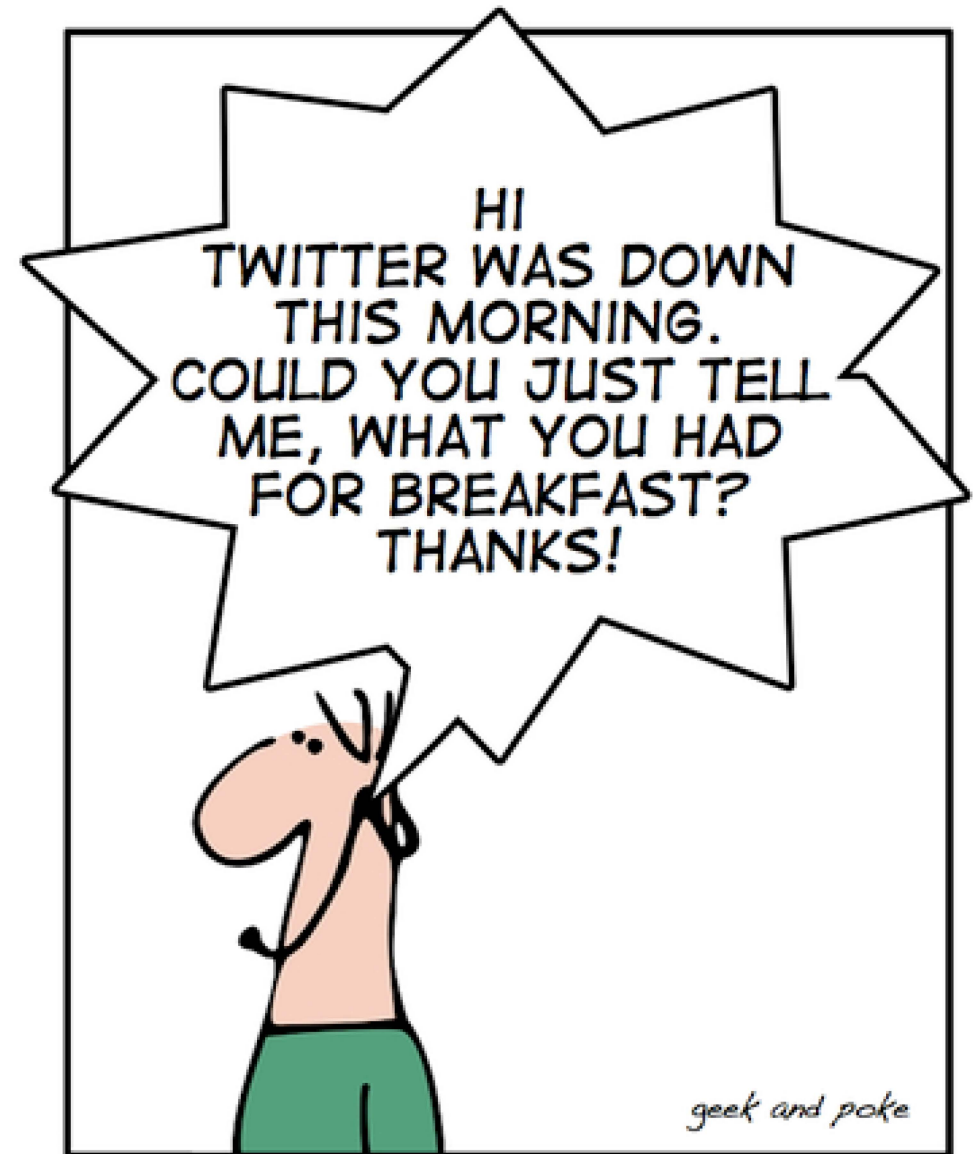




- Enhancing the role of people in factories
  - Increase Productivity
  - Secure well-being & job satisfaction
  - Monitor quality
  - Increase flexibility
  - Enhance interactions
  - Reduce stressors
  - Facilitate knowledge sharing
  - Ease learning



- Fragen?
- Anmerkungen?



THE REAL FOLLOWERS